嵌入式处理器

概述

- 嵌入式系统上的处理器单元称为嵌入式处理器。嵌入式处理器是嵌入式系统硬件的核心，运行嵌入式系统的系统软件和应用软件。
- 嵌入式处理器含有：
  - 处理器内核
  - 地址总线
  - 数据总线
  - 控制类总线
  - 处理器本身的辅助支持电路，如时钟、复位电路等
  - 片上I/O接口电路

嵌入式系统硬件子系统的组成

- 嵌入式系统的方式
- 硬件子系统总体组成
- 嵌入式处理器子系统
- 嵌入式存储器子系统
- 附属电路和I/O子系统
- 调试子系统
- 如何选择处理单元

嵌入式系统的方式

- 嵌入通用计算机型
- 嵌入专用计算机型
- 如何决定嵌入方式

嵌入通用计算机型

- 嵌入通用计算机型：通用计算机型嵌入式系统指的是把通用的计算机嵌入到应用系统内部，通常这样的嵌入式系统包括通用计算机和接口装备，接口装备通常含有机械装置，构成机电一体化系统。
- 优点：1. 计算机内核的成本低。2. 省掉了嵌入式计算机设计的成本。3. 可靠性比较高。4. 易于升级。5. 开发成本低。
- 缺点：1. 体积比较大。2. 软件保护具有一定的问题。
- 机械装置嵌入单板计算机：PC104模块方式。PC104/PC104plus
- 优点：成本低、体积小、开发方便；硬件开发周期短，只需要开发外设，而且目前已经有各种各样的外设。
- 缺点：系统的处理能力低。

嵌入专用计算机型

- 专用计算机型嵌入式系统不采用通用计算机的设计，而是根据嵌入式系统产品的特殊需要，完全量身定制嵌入式系统。
- 体积、功耗、成本等多方面的综合优化。
- 在产品的数量很大的时候，通常采用专用计算机型嵌入式系统

如何决定嵌入方式

- 没有固定的标准，通常考虑到行业用法，开发成本、产品的预计销售量

硬件子系统总体组成

- 嵌入式处理器的数据处理功能与普通的处理器是相同的，嵌入式处理器的内核和普通处理器的内核也是相同的。（80186/80386EX）
- 所不同的是嵌入式处理器集成了大量的I/O模块单元和存储器，在构成嵌入式系统时，不需要外接这些单元，可以做到系统的小型化。扩充性比较差
- 嵌入式系统的硬件包括：嵌入式处理器、存储器、I/O单元电路、外部设备。通常包括人机界面：键盘、液晶、语音I/O单元。
- 额外存储单元：存储卡、外部存储设备。

嵌入式处理器子系统

- 嵌入式系统适用的处理器包括通用微处理器、嵌入式微控制器、嵌入式微处理器、DSP等，有时还可以使用可编程逻辑器件（FPGA或CPLD等）作为内核处理单元。

通用微处理器

- 相似处
  - 对外的接口：各类总线及辅助电路接口
  - 处理功能：近似的指令功能分类
- 不同特征
  - 指令系统中指令的个数：如浮点功能的有/无
  - 指令的形式：精简指令集计算机（RISC）和复杂指令集计算机（CISC）
  - 处理器的结构设计：如流水线结构
  - 处理器的工艺和应用指标：如工作的温度条件等
- 设计嵌入式系统完全可以使用通用处理器，但更好的选择是使用嵌入式处理器。

嵌入式微控制器

- 主要是Intel的MCS-51/96系列、Motorola的68HCxx系列、Microchip的PIC系列。典型的微控制器包含在同一个集成电路上的CPU内核、中断控制器、定时器/计数器、存储器和其他外部设备，不需要或无法扩充存储器。

嵌入式微处理器

- **特点：**
  - **需要扩展。一般需要大量的外围电路，包括存储器和I/O接口电路**
  - **处理能力一般大于微控制器：大量的芯片面积集成了处理器内核，具有较高时钟频率和较宽的字长**
  - **寻址能力大于微控制器**
  - **一般适合于高端应用**
  - **型号多**
  - **通用性强**
- **ARM、Atmel、Intel、Motorola、National Semiconductors等公司**

DSP-概述

- DSP是特别为数字信号处理设计的处理器，而不是为普通应用设计的：数据量大；需要很强的实时性。
- 滤波：通过滤波，不需要的信号频谱被滤掉。
- 域变换：在信号处理中，另一项重要的任务是使用傅立叶变换将信号转换到频域，并且在频域中分析信号的频谱。
- 当前的应用包括语音编码、视频编码、调制解调、VoIP协议实现、滤波、蜂窝电话、电信基础设施、访问Internet的高速调制解调器

DSP-体系结构、分类、举例

- 体系结构特点：
  - 能够非常快速地计算出总和的乘加模块。
  - 支持通过移位操作完成的对位的处理。
  - 独立的地址生成单元来产生存储器单元的地址。
  - 专门的硬件来实现循环
- 分类：
  - 定点DSP：定点DSP只能完成定点数的算术操作
  - 浮点DSP：浮点DSP只能处理浮点数。
- 举例：
  - Analog Devices、Lucent Technologies、Motorola、Texas Instrumets
  - 哈佛（Harward）体系：两种独立的总线——数据和地址
  - 在设计一些混合应用时，通常可以采用DSP和普通的嵌入式处理器协同工作的方案，数字信号处理功能由DSP完成，一般的控制、计算和逻辑功能由通用的嵌入式处理器完成。

可编程器件

- 可编程器件PLD：FPGA和CPLD
- 最大优点：提高嵌入式系统硬件电路板的集成度和减少电路板的面积
  - 几乎所有的常用组合逻辑电路和时序逻辑电路
  - 复杂的通用电路，如通信控制器
- 考虑因素：
  - 成本：节省了电路板的成本，但是增加了可编程器件的成本
  - 速度：比软件实现速度快。

嵌入式存储器子系统

- 内部存储器/外部存储器。内部存储器是非常有限的。
- 嵌入式系统的存储器用于存放嵌入式系统的应用软件。通常以固件的形式存放，一部分以RAM的形式存放。

附属电路和I/O子系统

- 嵌入式处理器工作时必须有附属电路，如时钟电路、复位电路、调试电路、监视定时器、译码器电路等。
- I/O接口电路。包括两大类：输入接口电路和输出接口电路，完成嵌入式处理器与外部设备之间的交互和数据通信。这些电路包括网络接口与通信控制器、串行接口、模数转换和数模转换接口、人机接口等。

调试子系统

- JTAG调试接口和BDM调试接口。便于硬件和软件的调试。
- 在设计嵌入式系统的硬件电路时，通常在电路上引出JTAG接口，用于软件调试和程序下载、升级等。
- 保留调试子系统，用于程序下载和调试。

如何选择处理单元

- 选择哪一类处理单元：根据具体的设计应用，在通用处理器、嵌入式微控制器、嵌入式微处理器、嵌入式DSP、可编程器件之间作出选择。
- 选择哪个厂家的产品，即选择处理器的制造商，一般需要考虑：
  - 成本，包括处理器本身的成本和外围电路的成本
  - 处理器的技术指标
  - 开发工具的支持
  - 制造商的持续生产情况
  - 集成度和功能，通常采用高度集成的处理器设计的嵌入式系统的成本不一定底，需要考虑外部电路的成本。

嵌入式处理器的技术指标

- 功能：主要取决于处理器所集成的存储器的数量和外部设备接口的种类
- 字长：参与运算的数的基本位数，决定了寄存器、运算器和数据总线的位数，直接影响硬件的复杂程度。
- 处理速度：目前普遍采用在单位时间内各类指令的平均执行条数，即根据各种指令的使用频度和执行时间来计算。
- 工作温度：民用（0-70）、工业用（-40-85）、军用（-55-125）、航天用（更宽）几个温度级别。
- 功耗：工作功耗、待机功耗。或给出功耗与工作频率的关系。电源电压与功耗之间的关系。
- 寻址能力：取决于处理器地址线的数目，处理器的处理能力与寻址能力有一定的关系。
- 平均故障间隔时间（MTBF，Mean Time Between Failure）：在相当长的运行时间内，机器工作时间除以运行期间内故障次数。
- 性能价格比：衡量处理器产品的综合性指标。
- 工艺：半导体工艺和设计工艺两个方面。目前大多数嵌入式处理器采用MOS工艺。大多数的嵌入式处理器是静态设计，工作主频可以低至0，即直流。
- 电磁兼容性指标：系统级的电磁兼容性指标，取决于器件的选择、电路的设计、工艺、设备的外壳等。处理器级的电磁兼容性指标，还取决于芯片的集成工艺。

处理器处理速度的几种指标

- MIPS：每秒百万条指令，衡量在单位时间内各类指令的平均执行条数。
- MFLOPS：每秒百万次浮点运算，用于进行科学计算的处理器。
- 主频又称时钟频率，MHz来表示，是CPU完成某个基本操作的最短时间单位。
- CPI（Cycles Per Instruction)：每条指令周期数，即执行一条指令所需的周期数。

典型的嵌入式处理器

- Microchip系列嵌入式控制器
- Philips LPC嵌入式控制器系列
- Motorola微控制器MC68HC08系列
- MCS-51系列嵌入式控制器/处理器 MCU
- Atmel公司的AVR系列微控制器
- 80C186系列16位嵌入式处理器
- MC68HC12系列处理器
- PowerPC系列32位嵌入式处理器
- ColdFire系列32位嵌入式处理器
- ARM系列

Microchip系列嵌入式控制器

- 高性能、低价格、小包装，广泛应用于消费者市场、计算机外设、办公室自动化、自动控制系统安全、无线电通信应用。
- PIC16C5X 12位编程字
- PIC16CXXX 14位编程字
- PIC17CXXX 16位编程字
- PIC18CXXX 增强的16位编程字
- PIC12CXXX 8管脚12位/14位的编程字

PIC12CXXX8管脚8位结构系列

- 基于微型PIC上的微型芯片强大的RISC结构用于8管脚双列直插式封装（DIP）和SOIC封装。
- 2.5V低压、小封装管脚，具有中断处理以及更深的硬件堆栈。

PIC16C5X 12位结构系列

- 12位宽的指令表，通常提供18、20和28管脚封装。
- 低电压运行，下至2V，可直接采用电池供电。

PIC16CXXX 14位结构系列

- 为8位MCU提供最高性能的12位模数转换。
- 从18管脚到68管脚封装，保证外设的最高集成度。
- 14位宽的指令集，中断处理能力以及深层8级堆栈。

PIC17CXXX 16位结构系列

- 8位MCU中最快的。
- 扩展了PIC MCU高性能RISC结构，具有16位的指令字、增强的指令集和强大的中断处理能力

PIC18CXXX 16位结构系列

- 结合模数转换器的高性能、CMOS、全静态的16位MCU。
- 采用高级RISC结构。
- Harvard结构。

Philips LPC嵌入式控制器系列

- 51LPC系列OTP嵌入式微控制器与80C51系列兼容；时钟频率可高达20MHz。
- 20个引脚，I/O端口功能丰富。

Philips LPC主要性能和特点

- 增加Watchdog、I^2C总线、模拟比较器、8位A/D及8位D/A转换器、PWM、上电复位检测、工业标准工作温度范围，低功耗特性，不可破译性。
- 20引脚封装的单片机P87LPC76X，高集成度，低成本。

共同特性

- 运行速度快：最高20MHz
- 数字信号的操作电压为2.7-6.0V
- 128B的RAM
- 2个16位定时器/计数器
- 两个精确模拟量比较器
- 全双工通用异步接收/发送器及I^2C通信接口
- 8个键盘组合的中断输入，加两路外部中断输入，4个中断优先级
- 看门狗定时器，溢出时间8级选择
- 低电平复位　　降压复位
- 可选片内振荡器及其频率范围和RC振荡器。
- 可编程I/O端口输出模式：准双向口、开漏输出、上拉和输入功能。可选施密特触发输入。
- 所有口线均有20mA的驱动能力
- 端口输出的转换速度受控制以降低电磁干扰
- 至少15个I/O端口
- 仅需连接电源线和地线
- 串行EPROM允许在线编程
- 空闲和掉电两种省电模式　　低功耗
- 工业级温度范围
- 20引脚DIP封装和SOIC封装及TSSOP超薄微小型封装

不同点

- P87LPC767增加4路8位A/D转换器输入
- P87LPC768增加4路10位PWM输出
- P87LPC769增加2路8位D/A转换器输出
- I/O端口基本都是复合型的

Motorola微控制器MC68HC08系列

- 8位微控制器MC68HC05出现已近20年，共几十个系列，几百个品种。
- MC68HC08系列功能强、成本低、功耗低、开发容易，成为8位微控制器应用领域的主流机型。
- 通用GP/JL/XL型，汽车控制AZ型，模糊控制KX/KJ型，马达控制MR型，电话用W型
- 发展中：电话控制型、家用消费型、智能IC卡型、LCD驱动及VFD驱动控制器

MC68HC08系列微控制器的主要特点

- 采用模块化设计
- 含片内监控ROM，提供在线编程和在线调试功能
- 具有特色的Flash取代片内EPROM和ROM
- 具有锁相环电路，可以使用32kHz晶振产生8MHz的总线速度
- 与MC68HC05向下兼容，区别为
  - 变址寄存器由8位变为16位
  - 堆栈指针SP由6位变为16位
  - 程序计数器PC也为16位
  - 增加8种寻址方式和78条指令

MC68HC08结构和主要特性

- CPU08包括：算述逻辑单元、控制单元、寄存器组
- 特性：
  - 与CPU05指令代码完全向下兼容
  - 4KB程序/数据存储器空间
  - 8MHz CPU内部总线频率
  - 16种寻址方式
  - 可扩展的内部总线定义
  - 用于指令操作的16位变址寄存器
  - 16位堆栈指针和相应栈操作指令
  - 不使用累加器的存储器之间的数据移动
  - 快速8位乘法和16位除法指令
  - BCD码指令进一步增强
  - 增强型外设，如DMA控制器
  - 完全的静态低电压/低功耗设计

MCS-51系列嵌入式控制器/处理器

- 由Intel公司首先开发的嵌入式微处理器/微控制器，俗称单片机
- 8051是一个8位微控制器，具有8个寄存器，支持6个中断：3个外部中断、2个定时中断和1个串行端口中断

MCS-51的主要特征

- 简化的电源模式：空闲模式和电源降低模式
- 存储器组织：程序存储器和数据存储器
  - 程序存储器：最大容易64KB（片上4KB）
  - 数据存储器：内部256B，外部64KB
- 指令集：
  - 算术类
  - 逻辑类
  - 数据传送类
  - 布尔类
  - 跳转类

Atmel公司的AVR系列微控制器

- EEPROM电可擦除技术、闪速存储器技术、高质量、高可靠性生产技术。
- 主要特点表现为：
  - 以EEPROM电可擦除及Flash技术为主导。
  - 多种封装形式和高的质量
  - 高标准的质量检测
- 在航空航天仪器、雷达系统、导弹、智能自适应仪器、机器人、各种武器电子系统、抗恶劣环境电子系统广泛应用

AT90系列单片机简介

- 增强RISC结构、片上集成Flash的嵌入式控制器，简称AVR单片机
- 为适用于高级语言，采用大型快速存取寄存器文件和快速单周期指令
- 以一个周期执行指令，是第一种真正的RISC嵌入式微控制器
- 性能价格比，Harvard结构，8M程序/数据存储器
- 低功率、非挥发CMOS工艺，可在线编程

AVR嵌入式微控制器的总体结构

- 1-128KB可下载Flash存储器
- 64B-4KB的EEPROM
- 128B-4KB的RAM
- 5-48条通用I/O线
- 32个通用工作寄存器
- 带模拟比较器的定时器/计数器
- 可编程的异步UART串行口
- 内部及外部中断
- 带内部晶振的可编程看门狗定时器
- 为下载程序而设计的SPI串行口
- 10位A/D转换器
- 两个可通过软件选择的省电模式

80C186系列16位嵌入式处理器

- 两块独立的处理单元：执行单元（EU）和总线接口单元（BIU）。80C186内核下16位外部数据总线，80C188内核下8位外部数据总线。
- 同8086/8088是相同的。
- 执行单元
- 总线接口单元

AMD公司x86系列嵌入式微处理器

- Am186CC/Am186CH/Am186CU是第一系列，AM186ED/ER/ES/EM集成了完备的DRAM控制器
- 不同型号集成了HDLC、USB外设控制器或二者
- 可用于各类ISBN、POTS、USB服务

MC68HC12系列处理器

- 16位CPU
  - 向下兼容MC68HC11指令系统
  - 中断堆栈及和MC68HC11相同的程序员模型
  - 20位算术逻辑单元
  - 指令队列
  - 加强的变址地址
  - 模糊逻辑指令
- 多路总线结构
  - 单个芯片或扩展的芯片
  - 16位到16位的大模式或16位到8位的小模式
- 存储器（32M Flash、2M EEPROM、32M 只读存储器、768位EEPROM、1M RAM）

外部设备接口

- 外部设备接口
  - 8通道10位AD
  - 8通道标准计时器TM
  - 加强的读取计时器ECT
  - 8通道可编程输入读取或输出比较
  - 4个8位/2个16位脉冲累加器
  - 16位脉冲累加器
  - 门电路时间积累
  - 连续接口
  - 看门狗电路
  - 慢模式时钟除法器
  - 80管脚扁平封装
  - 63条通用I/O线
  - 背景调试模式
  - 芯片自带硬件关断点

PowerPC系列32位嵌入式处理器

- Motorola公司MPC555特点摘要：
  - 产品性能
  - 单一芯片的CPU，32位执行单元的PowerPC设计，32位有效地址，整数数据类型8位、16位和32位，浮点数数据类型32位和64位
  - 双路确定相联高速指令缓存器
  - 内部极限点比较、内部总线能见度、程序流动追踪、一个开发端口

PowerPC系列MPC555主要特征

- 带有浮点单元的PowerPC内核
- 26KB的快速RAM和6KB的TPU微码RAM
- 5V编程电压的448KB的Flash EEPROM
- 5V I/O系统
- 串行系统：基于队列的串行多通道模块，两个CAN2.0B控制器模块
- 50通道定时器系统：双定时处理单元（TPU3），模块化I/O系统
- 32个模拟量输入：两个基于队列的A/D转换器（QADC64）
- 272引脚的PBGA封装
- 工作频率40MHz，-40-125度，双电源供电。

ColdFire系列32位嵌入式处理器

- Motorola68K系列ColdFire微处理器
- 可变长度的RISC

ColdFire系列MCF5282主要特性

- 静态版本为2的ColdFire，可变长度RISC处理器
- 系统调试支持
- 片上存储器
- 电源管理
- 高速以太网控制器
- Flex CAN 2.0B模块
- 3个通用异步/同步接收器发送器（UART）　I^2C模块
- 队列形式的串行外设接口
- 队列形式的模拟/数字转换器（QADC）
- 4个32位DMA定时器及两个4通道通用定时器
- 4个周期性的中断定时器（PIT）
- 软件看门狗定时器及锁相环（PLL）
- 两个中断控制器。每个中断控制器支持高达63个中断源。
- 外部总线接口
- 复位
- 芯片集成模块（CIM）
- 通用I/O接口高达142位
- JTAG支持系统级别的在板测试

ARM系列

见5.6节

我国的嵌入式处理器

- 我国开发了少量自主知识产权的嵌入式系统内核技术，包括嵌入式微处理器。
- 方舟系列
- 龙芯系列

方舟系列

- 目前有方舟1号和方舟2号
- 体系结构介绍：
  - 方舟基本指令集：RISC结构，特权模式模型
  - 方舟媒体加速指令集：DSP和SIMD增强指令集、定制的MPEG加速指令
- 方舟1号处理器：166MHz、完整的MMU功能、哈佛总线结构、8K指令高速缓存和8K数据高速缓存，外部存储器控制器、PCI总线控制器
- 方舟2号处理器：USB1.1控制器、10/100M自适应以太网控制器、AC97标准音频控制器、串行通信控制器、红外通信控制器、智能卡控制器。400MHz主频下功耗360mW。

龙芯系列

- 中国科学院计算技术研究所通用CPU内核，0.18微米CMOS工艺，平均功耗0.4W（最大不超过1W）
- 主频200-266MHz
- 32位MIPS指令
- 0.18umCMOS
- 32位定点/64位浮点字长
- 8K指令/数据CACHE
- 精确中断处理
- IEEE754浮点标准
- 寄存器换名、动态调度、乱序执行
- 3.3V/1.8V工作电压
- 总线频率75-133MHz
- PQFP/CQFP封装

选择嵌入式处理器

- 总原则
  - 如果应用只包含最少的处理工作和少数的I/O功能，可以使用8位的微控制器
  - 如果计算和通信的要求使应用需要嵌入式操作系统，就应该使用一个16位或32位的处理器
  - 如果应用涉及信号处理和数学计算，比如音频编码、视频信号处理或者图像处理，就需要选择一个DSP
  - 如果应用在很大程度上是面向图形的，并且要求响应的时间要快，可能需要一个64位处理器。

选择嵌入式处理器的具体方法

- 够用原则
- 成本原则
- 参数选择（类型、处理速度、寻址能力、总线宽度、片上集成存储器、片上集成I/O、工作温度、封装、操作系统支持、开发工具支持、调试接口、行业用途、功耗特性、电源管理功能、价格、行业使用情况）

嵌入式CPU子系统的设计方法

- 基于微控制器的设计
  - 微控制器本身支持电路的设计
  - I/O部件的分别设计
- 基于微处理器的设计
  - 设计处理器子系统
  - 设计存储器子系统
  - 设计I/O子系统